

レーダ装置

Applicant claims the right to priority based on Japanese Patent Application No. 2003-100299, filed April 3, 2003.

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、連続波（CW）を周波数変調（FM）した送信信号を用いるFM-CWレーダ装置であって、ディジタル・ビーム・フォーミング処理を行うDBFレーダ装置に関する。

2. Description of the Related Art

従来のDBF型のレーダ装置は、送信信号を電磁波として放射する送信部と、電磁波が物体に到達してこの物体から反射された電磁波を受信信号として受信する複数の素子アンテナからなるアレーアンテナと、各素子アンテナにそれぞれ接続された複数の入力端子と、この複数の入力端子のいずれか1つと切り換え手段により択一的に接続される出力端子とを有し、出力端子から得られた受信信号を送信信号の一部を用いてダウンコンバートすることによって送信信号と受信信号との差信号を生成しこの差信号をディジタル信号に変換する受信部と、この受信部からのディジタル信号に対して所定の処理を施して物体までの距離又は相対速度を検出している（例えば、特開平11-160423号公報参照）。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明はDBF型のレーダ装置において、精度の高い測定をすることができるレーダ装置を提供することである。

本発明レーダ装置によれば、複数のアンテナを複数のグループに分けると共に、該複数のアンテナの少なくとも1つを共用アンテナとし、前記各グループに含まれる複数のアンテナ及び前記共用アンテナの出力端子を入力端子に択一的に順

次切替接続する複数の切替スイッチを有している。そして、送信信号の一部を用いて受信信号をダウンコンバートするダウンコンバート部及びA/D変換部を有するチャンネルを複数有し、前記各入力端子に入力した各アンテナからの受信信号を前記複数のチャンネルのそれぞれにおいてダウンコンバート及びA/D変換し、デジタル信号処理回路で所定の処理を施し、物体までの距離又は物体との相対速度を検出する。

本発明によれば、複数のチャンネルを用い、複数のアンテナのうち少なくとも1つを複数のチャンネルで共有しているので、補正を行うことにより精度の高い測定をすることができる。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The above object and features of the present invention will be more apparent from the following description of the preferred embodiments with reference to the accompanying drawings, wherein:

Figs. 1A, 1B, 1C は、ターゲットとの相対速度が0である場合のFM-CWレーダの原理を説明するための図である。

Figs. 2A, 2B, 2C は、ターゲットとの相対速度が v である場合のFM-CWレーダの原理を説明するための図である。

Fig. 3 は、FM-CWレーダの構成の例を示した図である。

Fig. 4 は、デジタルビームフォーミング (DBF) レーダ装置の基本構成を示した図である。

Fig. 5 は、デジタルビームフォーミング (DBF) レーダ装置の変形例を示した図である。

Fig. 6 は、切替信号発生器からの信号と、アンテナ切替動作を説明する波形を示した図である。

Fig. 7 は、ダウンコンバートされた信号の波形を示した図である。

Fig. 8 は、本発明によるレーダ装置の実施例を示した図である。

Fig. 9 は、分岐手段の構成を示した図である。

Fig. 10 は、チャンネル数が3の場合の本発明によるレーダ装置を示した図で

ある。

Figs. 11A, 11B は、どのように補正を行うかを説明するための図である。

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

本発明によるレーダ装置について説明する前に、FM-CWレーダの原理、及びDBFレーダの原理について説明する。

FM-CWレーダは、例えば三角波形状の周波数変調された連続の送信波を出力してターゲットである前方の車両との距離を求めている。即ち、レーダからの送信波が前方の車両で反射され、反射波の受信信号と送信信号をミキシングして得られるビート信号（レーダ信号）を得る。このビート信号を高速フーリエ変換して周波数分析を行う。周波数分析されたビート信号はターゲットに対してパワーが大きくなるピークが生じるが、このピークに対する周波数をピーク周波数と呼ぶ。ピーク周波数は距離に関する情報を有し、前方車両との相対速度によるドップラ効果のために、前記三角波形状のFM-CW波の上昇時と下降時とではこのピーク周波数は異なる。そして、この上昇時と下降時のピーク周波数から前方の車両との距離及び相対速度が得られる。また、前方の車両が複数存在する場合は各車両に対して一対の上昇時と下降時のピーク周波数が生じる。この上昇時と下降時の一対のピーク周波数を形成することをペアリングという。

Figs. 1A, 1B, 1C は、ターゲットとの相対速度が0である場合のFM-CWレーダの原理を説明するための図である。送信波は三角波でFig. 1Aの実線に示す様に周波数が増加する。送信波の送信中心周波数は f_0 、FM変調幅は Δf 、繰り返し周期は T_m である。この送信波はターゲットで反射されてアンテナで受信され、Fig. 1Aの破線で示す受信波となる。ターゲットとの間の往復時間 T は、ターゲットとの間の距離を r とし、電波の伝播速度を C とすると、 $T = 2r / C$ となる。

この受信波はレーダとターゲット間の距離に応じて、送信信号との周波数のずれ（ビート）を起こす。

ビート信号の周波数成分 f_b は次の式で表すことができる。なお、 f_r は距離周波数である。

$$f_b = f_r = (4 \cdot \Delta f / C \cdot T_m) r$$

一方、Figs. 2A, 2B, 2C はターゲットとの相対速度が v である場合の FM-CW レーダの原理を説明するための図である。送信波は Fig. 2A の実線に示す様に周波数が増加する。この送信波はターゲットで反射されてアンテナで受信され、Fig. 2A の破線に示す受信波となる。この受信波はレーダとターゲット間の距離に応じて、送信信号との周波数のずれ（ビート）を起こす。この場合、ターゲットとの間に相対速度 v を有するのでドップラーシフトとなり、ビート周波数成分 f_b は次の式で表すことができる。なお、 f_r は距離周波数、 f_d は速度周波数である。

$$f_b = f_r \pm f_d = (4 \cdot \Delta f / C \cdot T_m) r \pm (2 \cdot f_0 / C) v$$

上記式において、各記号は以下を意味する。

f_b : 送信ビート周波数

f_r : 距離周波数

f_d : 速度周波数

f_0 : 送信波の中心周波数

Δf : FM 変調幅

T_m : 変調波の周期

C : 光速（電波の速度）

T : 物体までの電波の往復時間

r : 物体までの距離

v : 物体との相対速度

Fig. 3 は、FM-CW レーダの構成の例を示したものである。図に示す様に、電圧制御発振器 VCO に変調信号発生器 MOD から変調信号を加えて FM 変調し、FM 変調波を送信アンテナ AT を介して外部に送信すると共に、送信信号の一部を分岐してミキサ MIX に加える。一方、物体から反射された反射信号を受信アンテナ AR を介して受信し、ミキサ MIX で電圧制御発振器 VCO の出力信号とミキシングしてビート信号を生成する。このビート信号はフィルタ F を介して A/D 変換器で A/D 変換され、ディジタル信号処理部 (DSP) で高速フーリエ変換等により信号処理がされて距離および相対速度が求められる。

ディジタル・ビーム・フォーミング (DBF) は、複数の受信アンテナで構成されるアレーアンテナの各々の信号をA/D変換してディジタル信号処理部に取り込み、ビーム走査やサイドローブ特性等の調整をディジタル信号処理部で行う技術である。

DBFレーダは、フェーズドアレーアンテナレーダの移相器の機能をディジタル信号処理で行うものであり、Fig. 4 にDFBレーダの基本構成を示す。

電圧制御発振器VCOに変調信号発生器MODから変調信号を加えてFM変調し、FM変調波を送信アンテナATを介して外部に送信すると共に、送信信号の一部を分岐してミキサMIX1-MIXnに加える。一方、物体から反射された反射信号は複数の受信アンテナAR1-ARnで受信され、各受信アンテナからの信号はそれぞれ増幅器AMP1-AMPnを経てミキサMIX1-MIXnに入力し、電圧制御発振器VCOからの出力信号とミキシングされてビート信号が生成される。

生成されたビート信号はそれぞれフィルタF1-Fnを経てA/D変換器A/D1-A/Dnによってディジタル信号に変換され、ディジタル信号処理部DSPに送られる。DSPでは各チャンネルからのディジタル信号を移相処理し (PH-SFT)、全チャンネルの合成を行う。

DBFの特徴は、全受信アンテナの信号をディジタル信号として取り込むと、それをもとに任意の方向にビーム合成ができるため、1回の取り込みで複数のビームを形成できることである。

一方、特開平11-160432号公報には、Fig. 4 に示されたDFBレーダ装置において、各アンテナ毎に設けられている増幅器、ミキサ、フィルタ等を1つにしたDFBレーダ装置が示されている。本発明の理解を容易にするため、このようなレーダ装置についてFig. 5 を参照して説明する。

Fig. 5 において、1は送信部、2はアンテナ部、3は切替スイッチ部、4は受信部、5はディジタル信号処理部である。送信部1において、電圧制御発振器VCOに変調信号発生器MODから変調信号を加えてFM変調し、 $f_0 \pm \Delta f / 2$ のFM変調波を送信アンテナATを介して外部に送信すると共に、送信信号の一部を分岐して受信部4のミキサ42に加える。一方、物体から反射された反射

信号はアンテナ部2の複数の受信アンテナAR1-ARnで受信され、各受信アンテナからの信号は切替スイッチ部3を経てはそれぞれ受信部4に入力する。

受信アンテナは第1チャンネルch1から第nチャンネルchnに対応するn個の受信アンテナAR1-ARnを備えている。切替スイッチ部3はn個のアンテナに対応したn個の端子出力t1-tnと1個の入力端子Tを備えており、入力端子Tは端子t1-tnのいずれか1つと接続され、切替信号発生器46からの切替信号によりその接続は周期的に切り替えられる。受信アンテナで受信された信号は増幅器41で増幅され、ミキサ42で送信信号の一部とミキシングされる。このミキシングにより受信信号がダウンコンバートされ、送信信号と受信信号との差であるビート信号が生成される。ビート信号は増幅器43、フィルタ44を経てA/D変換器45に入力し、切替信号発生器46の切替信号のタイミングでデジタル信号に変換される。デジタル信号処理部(DSP)5は、A/D変換器45からのデジタルビート信号を入力してデジタルビームフォーミングを行う。

切替接続は切替信号発生器46から出力される信号により行われる。この切替信号はFig. 6に示すよう周波数 f_{sw} のクロック信号であり、ch1-chnのp1-pnに示すように、周波数が f_{sw} である切替信号の立ち上がりエッジ及び立下りエッジでチャンネルの切替が行われる。その結果p1の間(時間 t_1-t_2)にch1が、p2の間(時間 t_2-t_3)にch2が、同様にpnの間(時間 t_n-t_{n+1})にchnがそれぞれ増幅器41と接続される。上記p1-pnの時間間隔は全て同じ T_1 であり、Fig. 6に示されているように周期 T_1 でチャンネルが切り替えられる。

ミキサ42でダウンコンバートされた信号の波形をFig. 7に示す。Fig. 7において、横軸は時間であり、縦軸は電圧である。また、縦の線は切替スイッチによるチャンネル切替周期 T_1 を表している。この図は受信チャンネル数nがn=8の場合を示しており、ch1-ch8で受信されたビート信号の位相が少しずつずれている。8本の曲線は各チャンネルで受信された信号がそれぞれダウンコンバートされたビート信号を示している。この実施例では、切替信号発生器46からの信号に基づき周期 T_1 でチャンネルの切替が行われるので、ミキサ42か

ら出力されるビート信号は、Fig. 7 において太線で示した波形の信号となる。
このビート信号は増幅器 4 3、フィルタ 4 4 を経て A/D 変換器 4 5 に入力する。
A/D 変換器 4 5 でビート信号はデジタル信号に変換され、デジタル信号
処理部 (DSP) 5 に送られる。DSP では各チャンネルからのデジタル信号
を移相処理し (PH-SFT)、全チャンネルの合成を行う。

〔実施例 1〕

Fig. 8 は本発明レーダ装置の実施例を示したものである。このレーダ装置は、
Fig. 5 のレーダ装置において、受信部 4 にそれぞれダウンコンバート部を備
えた複数のチャンネルを設け、複数のアンテナの少なくとも 1 つを複数のチャ
ンネルで共用するようにしている。

Fig. 8 は 2 つのダウンコンバート部を備えており、1 は送信部、2 はアン
テナ部、3 は切替スイッチ部、4 は受信部、5 はデジタル信号処理部 (DSP)
である。送信部 1 において、電圧制御発振器 VCO に変調信号発生器 MOD から
変調信号を加えて FM 変調し、 $f_0 \pm \Delta f / 2$ の FM 変調波を送信アンテナ AT
を介して外部に送信すると共に、送信信号の一部を分岐して受信部 4 のミキサ
4 2 A と 4 2 B に加える。一方、物体から反射された反射信号はアンテナ部 2 の複
数の受信アンテナで受信され、各受信アンテナからの信号は切替スイッチ部 3
を経てはそれぞれ受信部 4 に入力する。

受信アンテナは 2 つのグループに分かれており、グループ A は n 個の受信アン
テナ AR 1 1 - AR 1 n を備えており、グループ B は n 個の受信アンテナ AR 2
1 - AR 2 n を備えている。アンテナ部 2 はさらに後述する分岐手段に接続され
た共用アンテナ AR 0 を備えている。

切替スイッチ部 3 は、グループ A のアンテナの出力端子 $t 1 1 - t 1 n$ とグル
ープ B のアンテナの出力端子 $t 2 1 - t 2 n$ 、及び分岐手段 3 1 の端子 $t 0 1$ と
 $t 0 2$ を備えている。SW 1 はグループ A の切替スイッチであり、端子 $t 1 1 -$
 $t 1 n$ 、及び $t 0 1$ との接続を一定の周期で順次切り替え、アンテナ AR 1 1 -
AR 1 n 、及び共用アンテナ AR 0 からの受信信号を順次受信部に入力する。ま
た、SW 2 はグループ B の切替スイッチであり、 $t 2 1 - t 2 n$ 、及び $t 0 2$ と
の接続を一定の周期で順次切り替え、アンテナ AR 2 1 - AR 2 n 、及び共用ア

ンテナAR0からの受信信号を順次受信部に入力する。

なお、分岐手段31は、Fig. 9 に示されているように、共用アンテナAR0からの出力を切替スイッチSW0によって端子t01又は端子t02のいずれかに切り替える。この分岐手段として、ハイブリッド回路を用いてもよい。

一方、受信部4は2つのチャンネルで構成されており、チャンネルAは増幅器41A、ダウンコンバート部であるミキサ42A、増幅器43A、フィルタ44A、A/D変換器45Aを有し、チャンネルBは増幅器41B、ダウンコンバート部であるミキサ42B、増幅器43B、フィルタ44B、A/D変換器45Bを有している。

なお、Fig. 8 ではチャンネルの数は2であるが、3以上のチャンネルを設けてもよい。その場合、受信アンテナはチャンネルと同じ数のグループに分けられ、共用アンテナと分岐手段もチャンネル数に応じて設けられる。

アンテナ部2のアンテナAR11-AR1n、及び共用アンテナAR0から入力した受信信号はSW1によって順次択一的に切り替えられて受信部4のチャンネルAに入力し、アンテナAR21-AR2n、及び共用アンテナAR0から入力した受信信号はSW2によって順次択一的に切り替えられて受信部4のチャンネルBに入力する。

SW1及びSW2による切替は、切替信号発生器46から出力される、例えば、Fig. 6 に示す周波数 f_{sw} のクロック信号により行われる。各アンテナからの出力を切り替える動作はクロック信号の立ち上がりエッジ及び立下りエッジでチャンネルの切替が行われ、周期 T_1 で切り替わる。

増幅器41Aに入力した信号はダウンコンバート部であるミキサ42Aに入力し、電圧制御発振器VCOからの出力信号とミキシングされてダウンコンバートされ、ビート信号が生成される。このダウンコンバートされた信号の波形はFig. 7 に示したものと同様である。Fig. 7 において太線で示した波形のビート信号は増幅器43A、フィルタ44Aを経てA/D変換器45Aに入力する。A/D変換器45Aでビート信号はデジタル信号に変換され、デジタル信号処理部(DSP)5に送られる。

アンテナ部2のアンテナAR21-AR2n、及び共用アンテナAR0から入

力した受信信号はSW2によって順次択一的に切り替えられて受信部4のチャンネルBに入力する。以下の動作はチャンネルAで説明したものと同じである。

Fig. 8 に示されているように、複数のアンテナのうち共用アンテナAR0をダウンコンバート部を備えた2つのチャンネルA、及びBで共用している。Fig. 8 の実施例では1つのアンテナを共用しているが、複数のアンテナを共用してもよい。

次に、Fig. 8 に示された本発明の実施例の動作について説明する。スイッチSW1を介して得られた受信信号は、チャンネルAでダウンコンバートされ、A/D変換されてDSP5に入力し、ここで処理される。また、スイッチSW2を介して得られた受信信号も、チャンネルBでダウンコンバートされ、A/D変換されてDSP5に入力し、ここで処理される。

レーダ装置においては、ミキサ等の特性は温度等の周囲の環境によって変化し、制度の高い測定ができなくなることがある。本発明によれば、このような場合でも補正行い、測定精度を高めることができる。

以下に、Fig. 10 及びFigs. 11A, 11B を参照して本発明レーダ装置においてどのように補正を行うかについて説明する。Fig. 10 はチャンネル数が3の場合の本発明によるレーダ装置である。アンテナ(1)～(9)は3つのグループ(A), (B), (C)に分けられており、受信部は3つのチャンネル(A), (B), (C)で構成されている。図において、各グループのアンテナ数は3又は4となっているが、この数に限定されるものではない。

Figs. 11A, 11B はどのように補正を行うかを示したものである。Fig. 11A は補正を行う場合に各チャンネル(A), (B), (C)にスイッチSW1～SW3を介して得られた受信信号を表わしている。Fig. 11A に示すように、チャンネル(A)にはアンテナ(1)～(3)からの受信信号が入力し、チャンネル(B)にはアンテナ(3)～(6)からの受信信号が入力し、チャンネル(C)にはアンテナ(6)～(9)からの受信信号が入力する。

このうち、チャンネル(A)と(B)には共にアンテナ(3)からの受信信号が入力し、チャンネル(B)と(C)には共にアンテナ(6)からの受信信号が入力する。

このように、複数のチャンネルを備え各チャンネルがアンテナを共有すれば、同一の受信信号に対して異なるチャンネルでビート信号を生成することにより、各チャンネル間の位相、振幅特性の相関関係を把握でき、これに基づいて補正をすることができる。そのため、周囲環境が変化した場合でも精度劣化が生じることはない。

なお、Fig. 11B は、補正を行わない場合に各チャンネル (A), (B), (C) にスイッチ SW1～SW3 を介して得られた受信信号を表わしている。

Fig. 11B に示すように各チャンネルはアンテナを共有していない。

周囲環境の変化は通常観測時間に対して十分ゆっくり変化するので、チャンネル間の補正のためのデータ収集を毎回行う必要はない。従って、補正は、温度が変化した場合これを検知して行うこともでき、また、一定時間毎に行うこともできる。

Fig. 5 に示すように、複数のアンテナ列に対してダウンコンバートのためのミキサ等のチャンネルが 1 系統である場合、各アンテナ列の相関関係が崩れないように計測区間内において高速に切替える必要があり、信号は Fig. 7 に示すようになる。このように高速に切替えられた信号波形を忠実に A/D 変換器に入力するためには実際のビート信号帯域以上に非常に広帯域となり、S/N 比劣化の要因となる。

アンテナ列の数に対し、1 回のデータ収集区間 (観測区間) における切替えチャンネル数を少なくするための方式については特開平 11-31168 号公報で示されるような技術がある。この場合、基準のチャンネルを設定した上で組合せを考え、複数区間 (複数回の FM) データを用いて合成処理を行う必要がある。

自動車用レーダでの用途を考えた場合、レベル変動や相対速度の大きい目標物も多く、同時性を確保することは困難であり計測誤差や感度において問題が発生する可能性が高い。又、このような問題が発生しない場合でも、必要な観測区間数が少ないということは同じ観測総時間の間で得られる検出結果 (検出情報) が増えることになるので、平均化 (アベレージング) 処理などを適用することが可能となり、検出精度や感度が向上することになる。

ただし、単にチャンネルを増やすだけ (例えば、Fig. 4 の構成) では各チャ

ンネルのミキサ等の温度特性や周波数特性により周囲の環境変化に影響を受け、各チャンネル間の位相・振幅関係が変化して精度劣化が生じる。この問題を解決するために、本発明のように複数のチャンネルに対し1つのアンテナ列を共有すれば同一の受信信号に対し異なるチャンネルでビート信号を生成することにより、その解析結果により各受信系間の位相・振幅特性の相関関係を把握し、周期環境が変化した場合でも精度劣化が生じることはなくなる。

What is claimed

1. 送信信号を放射する送信部と、物体から反射された該送信信号を複数のアンテナを切り替えて受信するレーダ装置であって、

該複数のアンテナは複数のグループに分けられており、該各グループの複数のアンテナの少なくとも1つは共用アンテナであり、

前記各グループに含まれる複数のアンテナ及び前記共用アンテナの出力端子を入力端子に択一的に順次切替接続する複数の切替スイッチを有する切替スイッチ部と、該複数の切替スイッチのそれぞれを介して前記各入力端子に入力した各アンテナからの受信信号をダウンコンバートするダウンコンバート部及びA/D変換部を有する複数のチャンネルと、各チャンネルのA/D変換器からの出力を入力し所定の処理を施して前記物体までの距離又は前記物体との相対速度を検出するデジタル信号処理部とを有するレーダ装置。

2. 前記共有アンテナは該アンテナの出力を前記複数の各チャンネルに切り替え接続する分岐手段を備えた、請求項1に記載のレーダ装置。

3. 前記分岐手段は切り替えスイッチである、請求項2に記載のレーダ装置。

4. 前記分岐手段はハイブリッド回路である、請求項2に記載のレーダ装置。

RADAR APPARATUS

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

物体から反射された送信信号を複数のアンテナを切り替えて受信するレーダ装置であって、複数のアンテナは複数のグループに分けられており、各グループの複数のアンテナの少なくとも1つは共用アンテナであり、各グループに含まれる複数のアンテナ及び前記共用アンテナの出力端子を入力端子に択一的に順次切替接続する複数の切替スイッチ部と、該複数の切替スイッチのそれぞれを介して入力した受信信号をダウンコンバートするダウンコンバート部及びA/D変換部を有する複数のチャンネルと、各チャンネルのA/D変換器からの出力を入力するデジタル信号処理部を有し、デジタル信号処理部で所定の処理を施し、物体までの距離又は物体との相対速度を検出する。

Fig. 8